

Bewaring van lelieplantgoed

Energiebesparing door vermindering van de circulatie

Jeroen Wildschut, Henk Gude (PPO)
Guus Braam, Rik Vasen, Geert van Diepen (DLV Plant)

© 2010 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving BV en DLV Plant

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veeleenvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Praktijkonderzoek Plant & Omgeving en DLV Plant.

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving BV en DLV Plant zijn niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

PPO Publicatienr. 32360 702 00

Projectnummer: 32360 702 00

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Sector Bloembollen, Bomen & Fruit

Adres : Prof. Van Slogterenweg 2, Lisse
: Postbus 85, 2160 AB Lisse
Tel. : 0252 462121
Fax : 0252 462100
E-mail : info.ppo@wur.nl
Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

Pagina

1	SAMENVATTING.....	6
2	INLEIDING	7
3	WERKWIJZE	8
4	RESULTATEN	10
4.1	Ademhaling	10
4.2	Debiet.....	10
4.3	Verminderen van de circulatie.....	11
4.4	Energieverbruik	20
5	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	22
6	COMMUNICATIE.....	24
BIJLAGEN		

1 Samenvatting

Op twee leliebedrijven, bij elk in een cel met LA-plantgoed en in een cel met OR-plantgoed, zijn op drie tijdstippen tijdens het bewaarseizoen in de bewaarcel metingen gedaan aan het CO₂-gehalte, de temperatuur en de RV, o.a. tussen de bollen en in de uitblaasopeningen van de systeemwand. Hierbij werd de circulatie verminderd van continu 300 m³/uur per m³ bollen naar 200, 100, 80 en 50 m³/uur via de aan/uit regeling. Omdat op deze bedrijven geen frequentieregelaars zijn geïnstalleerd is de frequentiegeregelde vermindering van de circulatie nagebootst door de inlaat van de systeemventilator te verkleinen waardoor het debiet, maar niet de warmteproductie, verkleind wordt.

De gewichtsafname van de bollen tijdens de bewaring is vastgesteld door van monsters met een aanvangsgewicht van 2 kg ongeveer maandelijks het gewicht te bepalen. Daarnaast is van monsters in het laboratorium van PPO Lisse bij 2 bewaartemperaturen op 3 momenten de ademhaling bepaald.

Doel van dit onderzoek is om voor circulatie en ventilatie tot normen te komen waarmee maximaal op energie wordt bespaard zonder dat dit ten koste gaat van de kwaliteit van het lelieplantgoed. Voor de verminderde circulatie is hierbij ook een vergelijking gemaakt tussen de aan/uit regeling en de frequentieregeling.

Bij de laboratoriumbepalingen varieerde de ademhaling van ongeveer 2 tot 4,5 liter CO₂/ton/uur.

De ademhaling verschilt per cultivar, is hoger in de eerste weken van de bewaring dan in de laatste maanden, en is hoger bij een hogere bewaartemperatuur. De ademhaling van leliebollen bij de gangbare bewaartemperatuur van 2 tot -0,5 °C (gemiddeld 2,57 liter CO₂/ton/uur) is laag vergeleken met de ademhaling van bv. tulpenbollen bij 20 °C (± 11 liter/ton/uur). Bij gemiddeld 2 graden hogere bewaartemperatuur laten de LA-soorten vanaf half februari spruitvorming en later ook nieuwe zijwortels zien.

Het CO₂-gehalte (in de cel en tussen de bollen in de kisten) verloopt grillig, maar volledig voorspelbaar en kwam tijdens de bewaarperiode nooit boven 6000 ppm, ongeacht de ventilatie- of circulatiehoeveelheid. Schadedrempels voor lelie zijn onbekend en nooit bepaald, maar bij tulp is één (beperkt) onderzoek bekend. Hierbij trad pas tussen de 10.000 en 20.000 ppm schade op.

De ventilatiehoeveelheid van gemiddeld ongeveer 1 m³/uur per m³ bollen (door een ventilator, of door het regelmatig openen van de celdeur) is daarom ruim voldoende.

Uit de metingen blijkt dat het verminderen van de circulatie dmv. frequentieregeling de pieken in het CO₂-gehalte die optreden bij de aan/uit-regeling voorkomen worden.

Door de bufferende werking van de bolmassa varieert de temperatuur tussen de bollen als gevolg van de aan/uit regeling nauwelijks (< 0,1 °C). De temperatuur van de cellucht varieert sterker als gevolg van de aan/uit regeling en het ontdooien van de verdamper. Hierdoor kan de temperatuur van de cellucht kortstondig met 0,8 °C oplopen. In extreme gevallen kan bij het opengaan van de celdeuren de temperatuur kortstondig plaatselijk met 5 °C oplopen.

Het RV-verloop kon niet worden gemeten, maar was meestal boven de 90 – 95%. Het gewichtsverlies van de bewaarde leliebollenmonsters was maximaal ongeveer 10%. Afvoer van water uit de cel vindt plaats door opwarmen door de circulatieventilatoren en koelen via de condensor. Dit is energetisch ongunstig.

Het grootste deel van het energieverbruik voor koelen komt bij continu circuleren (300 m³/uur) op rekening van het terugkoelen van de door de ventilatoren geproduceerde warmte. De hiervoor benodigde energie is ongeveer 3 maal zoveel als voor het terugkoelen van de door de bollen geproduceerde warmte. Naarmate de circulatie vermindert neemt de benodigde energie voor het terugkoelen van de ventilatoren af.

Met frequentiegeregelde verminderde circulatie neemt deze energiebehoefte veel sterker af dan bij de aan/uit regeling.

De conclusies hieruit zijn dat als norm voor de ventilatie 1 m³/uur per m³ bollen ruim voldoende is om CO₂ af te voeren. Als norm voor de circulatie is de laagste circulatiehoeveelheid (50 m³/uur) voldoende om een te hoog CO₂-gehalte of een te grote variatie in temperatuur tussen de bollen te voorkomen.

Om de circulatie te verminderen kan het beste de frequentieregeling worden toegepast: dit bespaart t.o.v. de aan/uit regeling 50 – 70% aan elektra door een lager energieverbruik van de ventilatoren, en daardoor ook door een lager energieverbruik voor het terugkoelen van ventilatorwarmte.

2 Inleiding

De veruit belangrijkste energiepost bij de teelt van lelies is het elektraverbruik voor koeling en circulatie tijdens de bewaring van november t/m april. Lelieplantgoed wordt bewaard in palletkisten bij een temperatuur van 2 - 4 °C in de eerste weken na het rooien tot gemiddeld -0.5 °C in de laatste maanden. Enige ventilatie is nodig voor het afvoeren van CO₂, water en warmte die in de ademhaling geproduceerd worden. Tot enkele jaren geleden werd geadviseerd om één keer per dag de celdeur korte tijd open te zetten om op deze manier te ventileren. Tegenwoordig is in veel leliecellen een PVC-pijpje in de buurt van de verdamper aangebracht om wat verse lucht aan te zuigen. De ventilatiebehoefte van lelies is dus kennelijk erg laag vergeleken met die van tulpenbollen, maar niet exact bekend.

Doel van de circulatie is het creëren van een over alle kisten gelijkmatig en gunstig bewaarklimaat tussen de bollen in termen van temperatuur, RV, en CO₂-gehalte. Voor de circulatie worden in de praktijk normen gehanteerd variërend van 50 tot 300 m³ lucht/uur per m³ leliebollen. Groot nadeel van de circulatie is dat de warmteproductie van de systeemventilatoren ook teruggekoeld moet worden.

Doel van dit onderzoek is om voor circulatie en ventilatie tot normen te komen waarmee maximaal op energie wordt bespaard zonder dat dit ten koste gaat van de kwaliteit van het lelieplantgoed. Voor de verminderde circulatie is hierbij ook een vergelijking gemaakt tussen de aan/uit regeling en de frequentieregeling.

3 Werkwijze

Om de minimaal benodigde circulatie voor leliebewing vast te stellen is in praktijksituaties nagegaan hoeveel de temperatuur van de bollen, en de RV en het CO₂-gehalte van de lucht tussen de bollen veranderd door vermindering van de hoeveelheid circulatielucht (m³/uur per m³ bollen). Hiertoe is tijdens het bewaarseizoen op 2 bedrijven, bij elk in een cel met LA-plantgoed en in een cel met OR-plantgoed, door middel van luchtsnelheidsmetingen eerst nagegaan wat het gemiddelde debiet (m³/lucht per uur) per kist en per laag is. Vervolgens zijn CO₂-, temperatuur- en RV-metingen uitgevoerd bij verschillende aan/uit instellingen van de circulatie. Omdat op deze bedrijven geen frequentieregelaars zijn geïnstalleerd is de frequentiegeregelde vermindering van de circulatie nagebootst door de inlaat van de systeemventilator te verkleinen waardoor het debiet, maar niet de warmteproductie, verkleind wordt.

De metingen zijn uitgevoerd in december, in januari en in februari/maart, tabel 1. De data zijn middels dataloggers digitaal opgeslagen. Op basis van de bedrijfsgegevens en rekenmodellen zijn de resultaten verwerkt en is het energieverbruik bij de twee regelingen voor verminderde circulatie (frequentie versus aan/uit) berekend.

Tabel 1: Overzicht van de tijdstippen waarop is teruggetoerd van 300 continu naar 200 → 100 → 50 m³/uur per m³ bollen met aan/uit en frequentieregeling*, en van de posities van de temperatuur-, RV- en CO₂-meters in de verschillende partijen bij de bedrijven A en B.

	LA	OR	positie CO ₂ meter	positie Temp/RV
Terugtoeren circulatie				
Bedrijf A	8/9 dec 19/20 jan 10-mrt	16/17 dec - 16/17 maart	tussen bollen kist 2 of 4 bovenlaag	in 1ste kist van laag 1, laag 3 en laag 4, in uitblaasopingen, en op 1ste kist laag 4.
Bedrijf B	1/2 dec 27/28 feb 2/3 maart	17/18 dec - 9/10 maart	tussen bollen laatste kist bovenlaag	tussen bollen laatste kist bovenlaag en in palletkanaal uitblaas

* FRQ: frequentieregeling alleen nagebootst bij 1ste meting

Nummering van de lagen oplopend van onder naar boven, nummering van de kisten oplopend vanaf de systeemwand.

De bewaargegevens van deze bedrijven zijn samengevat in tabel 2.

Tabel 2: Bedrijfsgegevens mbt. plantgoedbewaring

Gegevens	Eenheid	Bedrijf A		Bedrijf B	
		LA	OR	LA	OR
Beluchting		tweelaags		eenlaags	
Ventilator circulatie	kW	2,2	2,2	0,6/1,8	0,6/1,8
aantal ventilatoren	n	6	8	6	6
aantal rijen	n	12	16	6	6
hoogte	kisten	4	4	5	5
diepte	kisten	6	9	7	7
maximaal aantal kisten	n	288	576	210	210
kistinhoud	liter	960	960	1200	1200
ontdooifrequentie		elke 6 uur	elke 4 uur	elke 4 uur	elke 4 uur
Circulatie-ventilator uit bij ontdooien		ja	ja	nee	nee
Ventilatie hoeveelheid	m ³ /uur	395	520	200	200
Celinhoud	m ³ bollen	276	553	252	252
Ventilatie hoeveelheid per m ³ bollen	m ³ /uur	1,4	0,9	1,0	1,0
Circulatiehoeveelheid per ventilator	m ³ /uur	17954	23118	20000	20000
idem per m ³ bollen	m ³ /uur	390	334	476	476
Circulatie per ventilator bij laagtoeren	m ³ /uur	nvt	nvt	14000	14000
idem per m ³ bollen	m ³ /uur	nvt	nvt	333	333

De gewichtsafname van de bollen tijdens de bewaring is vastgesteld door per cultivar van vier monsters met een aanvangsgewicht van 2 kg ongeveer maandelijks het gewicht te bepalen.

Om uitspraken te kunnen doen over de minimale ventilatiebehoefte van lelieplantgoed zijn ademhalingsmetingen verricht aan monsters uit de vier op de bedrijven bewaarde partijen. Deze zijn aan het begin van de bewaarperiode in elke cel genomen en voor analyse naar PPO Lisse gebracht. Op drie momenten tijdens de bewaarperiode is vervolgens de ademhaling bepaald. De gemeten ademhalingsactiviteit kan worden omgerekend naar de zuurstofbehoefte van een hele cel. Tussen bedrijven onderling kan de bewaartemperatuur enigszins variëren. Om toch voor alle situaties op bedrijven een inschatting te kunnen maken van de ventilatiebehoefte zijn de monsters van de 2 testbedrijven bij 2 verschillende temperaturen bewaard: de laagst geadviseerde temperatuur en 2 à 3 graden hoger.

4 Resultaten

4.1 Ademhaling

De resultaten van de bepalingen van de ademhaling op drie momenten tijdens de bewaarperiode van de 4 cultivars zijn samengevat in tabel 3. Gemiddeld over het bewaar seizoen verschilt de ademhaling van de cultivar Brindisi statistisch significant van de cultivar Aktiva en van de cultivars Menorca en Mothers Choice. Onderling verschillen deze laatste twee niet van elkaar. In het begin van het bewaar seizoen is voor alle cultivars de ademhaling hoger dan later in het seizoen, namelijk gemiddeld 4,98 l CO₂/ton/uur tegen 2,01 tot 2,12 na 19 februari. Bij een 2-3 graden hogere bewaar temperatuur is, voor alle cultivars en in alle periodes, de ademhaling ook hoger en laten de LA-soorten spruitvorming en later ook nieuwe zijwortels zien.

De ademhaling van leliebollen bij de gangbare bewaar temperatuur van 2 tot -0,5 °C (gemiddeld 2,57 liter CO₂/ton/uur) is laag vergeleken met de ademhaling van bv. tulpenbollen bij 20 °C (± 11 liter/ton/uur).

Tabel 3: Gemiddelde ademhaling van de cultivars, in de verschillende periodes en bij de twee bewaar temperaturen.

		Ademhaling liter CO ₂ /ton/uur
Cultivar	Brindisi (LA)	2,83
	Aktiva (OR)	4,38
	Menorca (LA)	2,46
	Mothers Choice (OR)	2,49
Periode	15 dec/19 jan	4,98
	19-feb	2,01
	31-mrt	2,12
Temp	standaard*	2,57
	2-3 graden hoger	3,51
gemiddeld		3,04

* Standaard temperatuur in 15 dec/19 jan: ± 2 °C, 19 feb: ± 0,5 °C, 31 maart: - 0,5 °C.

4.2 Debiet

De resultaten van de luchtsnelheidsmetingen per laag (op bedrijf A, tweelaagssysteem) en per kist (bedrijf B, éénlaagssysteem) zijn omgerekend naar debiet (m³/uur) per m³ bollen en samengevat in respectievelijk tabel 4 en tabel 5. Het resulterende debiet bij de verschillende aan/uit instellingen is hier ook bij vermeld.

De spreiding van het gemiddelde debiet per m³ bollen over de lagen loopt uiteen van 12% (opmerkelijk laag) tot 53%. Op bedrijf A krijgt de bovenste laag de meeste lucht, de derde laag het minst. Op bedrijf B krijgt de onderste laag (laag 1) de meeste lucht, de 4^{de} of de 5^{de} laag krijgt het minst.

Door lekkage bij minder strakke stapeling, en verschillen in de grootte van de uitblaasopening per kist (éénlaagssysteem) is het debiet per kist niet exact te meten. In de tekst zijn daarom de debieten per m³ bollen bij de verschillende aan/uit instellingen afgerond op 200 m³/uur bij 20 minuten aan/10 minuten uit, op 100 m³/uur bij 10 minuten aan/20 uit, op 80 m³/uur bij 8 minuten aan/22 uit, en op 50 m³/uur bij 5 minuten aan/ 22 minuten uit.

Tabel 4: Debiet per m³ bollen (m³/uur), gemiddeld per laag en per rij, bedrijf A.

Laag	LA		OR	
laag1	399	102%	368	110%
laag2	308	79%	351	105%
laag3	308	79%	133	40%
laag4	544	139%	485	145%
min	308		133	
max	544		485	
gemiddeld per rij	390		334	
spreiding	30%		53%	
gemiddeld bij:				
aan/uit 20/10 minuten	260		223	
aan/uit 10/20 minuten	130		111	
aan/uit 8/22 minuten	104		89	
aan/uit 5/25 minuten	65		56	

Tabel 5: Debiet per m³ bollen (m³/uur), gemiddeld per laag en per rij, bedrijf B*.

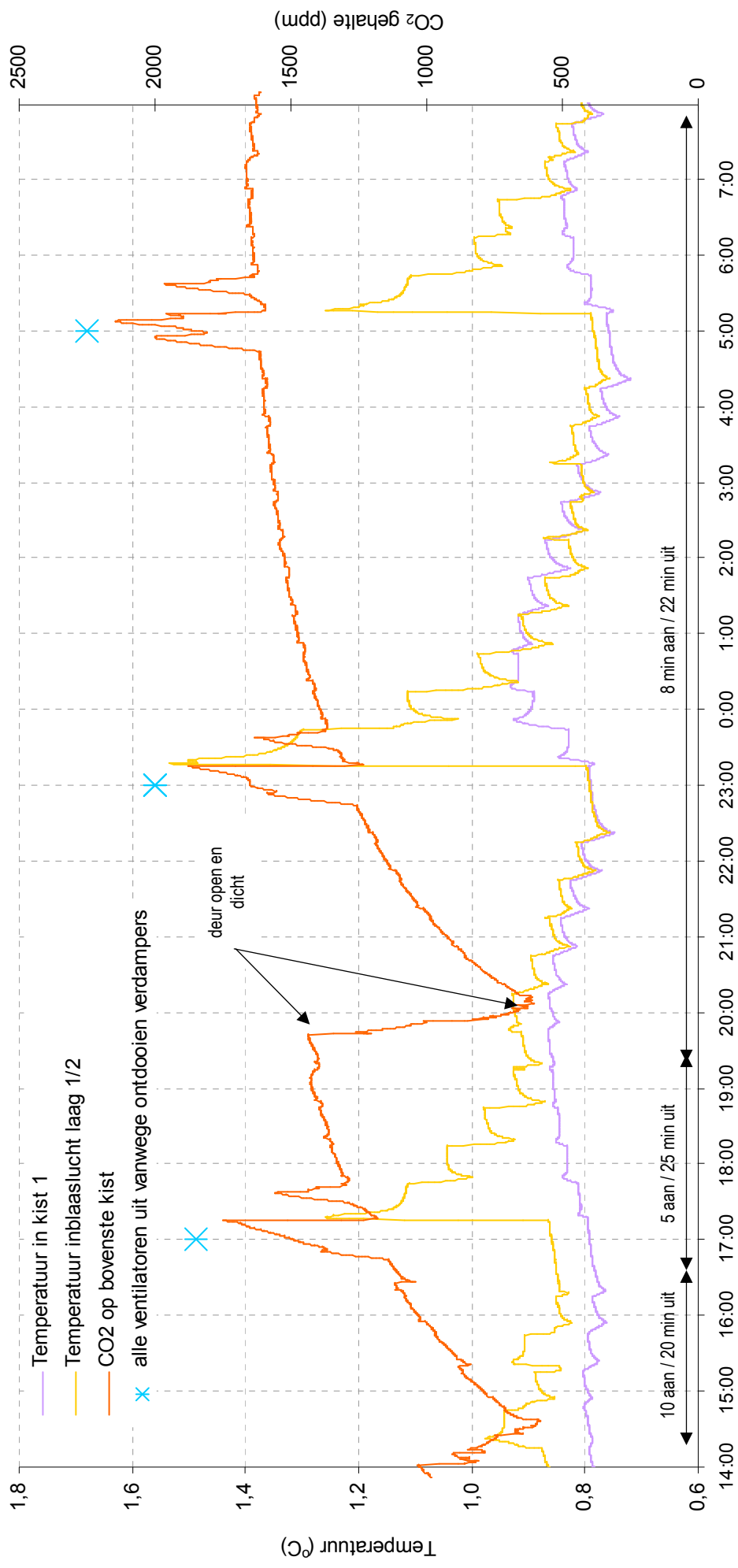
Laag	LA		OR	
laag1	358	110%	459	135%
laag2	349	107%	425	125%
laag3	314	96%	328	96%
laag4	280	86%	265	78%
laag5	331	101%	224	66%
min	280		224	
max	358		459	
gemiddeld per rij	326		340	
spreiding	12%		35%	
gemiddeld bij:				
aan/uit 20/10 minuten	218		227	
aan/uit 10/20 minuten	109		113	
aan/uit 8/22 minuten	87		91	
aan/uit 5/25 minuten	54		57	

* bij laag toeren

4.3 Verminderen van de circulatie

De resultaten van de eerste metingen van CO₂ en temperatuur in de bewaarcel met LA-plantgoed op bedrijf A zijn samengevat in figuur 1. Terwijl de ventilatoren van de overige rijen draaiden volgens het standaard schema 8 minuten aan/ 22 minuten uit, zijn in de periode die de figuur laat zien zijn de volgende aan/uit instellingen van de circulatieventilator van rij 1 gerealiseerd:

13:45 – 16:15	10 minuten aan, 20 minuten uit (100 m ³ /uur per m ³ bollen)
14:00 – 14:40	celdeur open
16:15 – 19:15	5 minuten aan, 25 minuten uit (50 m ³ /uur per m ³ bollen)
16:30 – 17:00	ontdooien van de verdampers waarbij automatisch <i>alle</i> circulatieventilatoren uit staan
19:15 – 08:00	8 minuten aan, 22 minuten uit (dit is tevens de instelling van de overige 5 circulatieventilatoren, 80 m ³ /uur per m ³ bollen)
19:45 – 20:15	celdeur open



Figuur 1: CO₂- en Temperatuurmetingen begin december op bedrijf A, LA-cel.

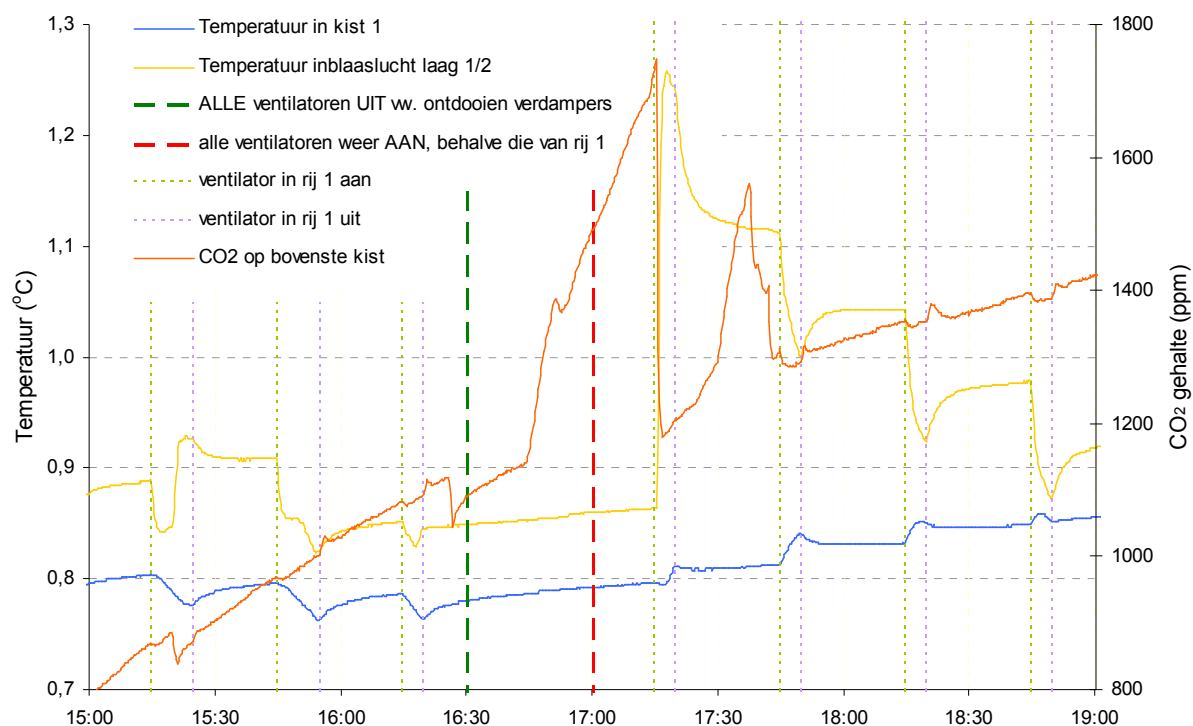
De CO₂ -meter is in één van de kisten op de bovenste rij geplaatst. De getoonde temperatuurmetingen zijn die van tussen de bollen in de eerste kist in de onderste laag (laag 1) van rij 1 en van de lucht die uit de onderste uitblaasopening van de systeemwand laag 1 en laag 2 inblaast.

Wanneer de celdeur open gaat (om 14:00 uur en 19:45 uur) daalt het CO₂ gehalte snel, wanneer de celdeur weer dicht gaat (14:40 en 20:15 uur) neemt het CO₂-gehalte weer gestaag toe tot er de volgende dag om ongeveer 04:00 uur rond de 1700 ppm een evenwicht is bereikt tussen aanvoer door ademhaling en afvoer door ventilatie en eventueel lekkage via kieren bij de celdeuren.

Wanneer de systeemventilator van rij 1 waar de metingen zijn verricht uit staat (20 minuten per half uur van 13:45 tot 16:15, 25 minuten per half uur van 16:15 tot 19:15 uur en 22 minuten van 19:15 tot 08:00 uur) zou het CO₂ gehalte tussen de bollen snel op moeten lopen. Dit is echter niet of nauwelijks in figuur 1 waar te nemen waaruit volgt dat de CO₂ -meter te ondiep tussen de bollen geplaatst is, of dat de bovenlangse luchtstroom door de verdamperventilatoren erg sterk is: het gemeten CO₂-gehalte is dat van de cellucht.

Tijdens het ontdooien van de verdampers slaan alle systeemventilatoren uit, ook die van rij 1 waaraan gemeten is. In deze rij slaat door het ingestelde aan/uit regime de ventilator al om 16:20 uur uit, en blijft tot 17:15 uur uit omdat de ontdooiregeling alle ventilatoren van 16:30 tot 17:00 uur uitzet. In dit halfuur neemt in alle kisten het CO₂-gehalte snel toe. Pas na 16:45 neemt het CO₂-gehalte van de cellucht iets toe door diffusie. Als om 17:00 uur alle ventilatoren weer aanslaan, behalve de ventilator van rij 1 waar de metingen worden verricht, wordt de in de kisten van de andere rijen opgehoopte CO₂ snel afgevoerd (dit gaat binnen enkele minuten) waardoor het CO₂-gehalte van de cellucht snel stijgt. Door vermenging in de cellucht en door de celventilatie van ongeveer 300 m³/uur (ongeveer 1 m³/uur per m³ bollen) wordt dit CO₂ binnen 2 uur afgevoerd waardoor het CO₂-gehalte van de cellucht weer op het niveau van de evenwichtscurve komt.

Bij het om 17:15 uur aanslaan van de ventilator van rij 1 waar de metingen worden verricht wordt nu pas CO₂ de cel ingeblazen waardoor het CO₂-gehalte tussen de bollen daalt en in de cel iets stijgt. Het CO₂ loopt weer iets op wanneer na 5 minuten de ventilator weer voor 25 minuten uit staat. Tegen 18:00 uur volgt het CO₂-gehalte van de cellucht weer de evenwichtscurve. In figuur 1a is deze periode van 15:00 t/m 19:00 uur uitvergroet.



Figuur 1a: Uitvergroting figuur 1, 15:00 tot 19:00 uur.

De temperatuur gemeten in de uitblaasopening van de systeemwand komt overeen met de temperatuur van de cellucht en schiet zodra de ventilator op 17:15 uur aanslaat 0,4 °C omhoog: Door het ontdooien van de verdampers is de celtemperatuur iets gestegen en bij het aanslaan van de ventilator komt ook wat warmte vrij. De temperatuur tussen de bollen verandert echter nauwelijks omdat de bollen koude afgeven aan de cellucht. Als na 5 minuten de ventilator weer voor 25 minuten uit staat daalt daarom de temperatuur van de lucht in de uitblaasopening. Inmiddels is de celtemperatuur door de koeling verder

verlaagd en wanneer de ventilator opnieuw aanslaat wordt er koelere lucht de bollen ingeblazen. Tijdens de 25 minuten dat de ventilator uit staat loopt door de ademhaling van de bollen de temperatuur een fractie van een graad op. Naarmate het langer geleden is dat de verdampers ontdooit worden komt de temperatuur van de cellucht meer overeen met de temperatuur tussen de bollen.

De resultaten van een tweede meting eind januari in de LA-cel zijn samengevat in figuur 2. Terwijl de ventilatoren van de overige rijen draaiden volgens het standaard schema 8 minuten aan/ 22 minuten uit, zijn de volgende aan/uit instellingen van de circulatieventilator van rij 1 gerealiseerd:

22:00 – 07:30	5 minuten aan, 25 minuten uit (50 m ³ /uur per m ³ bollen)
01:00 – 01:30	ontdooien van de verdampers waarbij automatisch <i>alle</i> circulatieventilatoren uit staan
07:00 – 07:30	idem
07:30 – 10:00	continu aan (300 m ³ /uur per m ³ bollen)
10:00 – 13:00	20 minuten aan, 10 minuten uit (200 m ³ /uur per m ³ bollen)
13:00 – 13:30	ontdooien van de verdampers waarbij automatisch <i>alle</i> circulatieventilatoren uit staan
13:00 – 16:10	10 minuten aan, 20 minuten uit (100 m ³ /uur per m ³ bollen)
16:10 – rest	8 minuten aan, 22 minuten uit (80 m ³ /uur per m ³ bollen)

De CO₂-meter is nu diep genoeg tussen de bollen geplaatst waardoor goed waar te nemen is hoe tijdens de periode dat de systeemventilator uit staat het CO₂-gehalte tussen de bollen oploopt. In de periode dat de ventilator continu draait (van 07:30 tot 10:00) volgt het CO₂-gehalte weer de evenwichtscurve. De grote pieken worden weer veroorzaakt door het ontdooien van de verdampers waarbij automatisch alle circulatieventilatoren uit staan. In de rij waar gemeten werd stond daardoor, gecombineerd met het aan/uit regime, de ventilator ongeveer een uur uit.

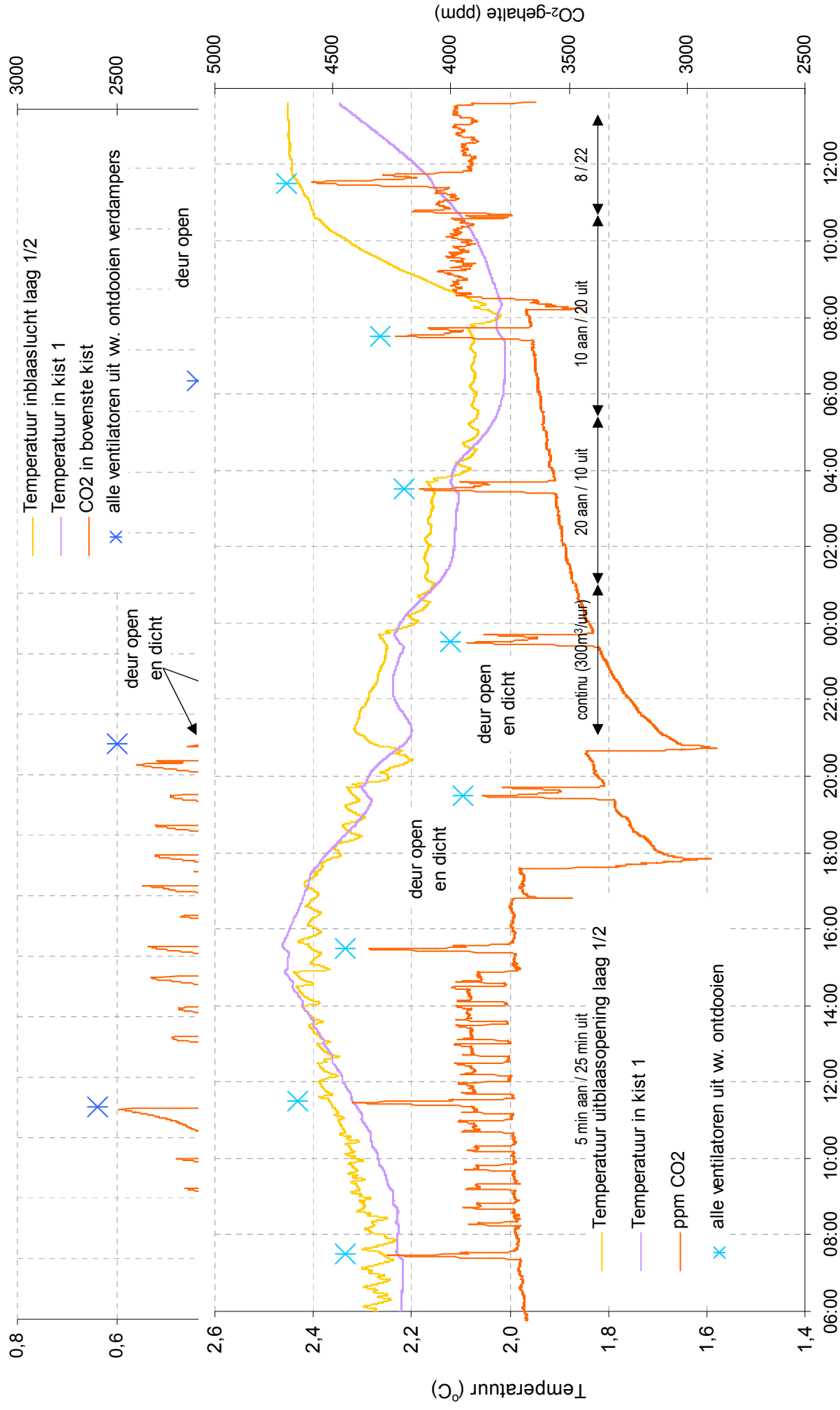
De temperatuur tussen de bollen blijft van 22:00 tot 07:30 uur zeer constant. De temperatuur van de inblaasluucht neemt bij het aanslaan van de ventilator weer even iets toe. Daarna wordt koelere cellucht meegenomen waardoor de inblaasluucht bijna 0.3 graden afkoelt. Tijdens de tijd dat de ventilator uit staat neemt door de ademhaling de temperatuur weer iets (0,1 graad) toe.

Ook tussen 07:30 en 10:00 uur, wanneer de systeemventilator continu draait, schommelt de temperatuur van de inblaasluucht, mogelijk doordat de 5 andere systeemventilatoren elk half uur 8 minuten aan staan waardoor de cellucht telkens iets wordt opgewarmd. Na 10:00 uur vertoont het CO₂-gehalte weer de half-uurlijkse pieken.

De resultaten van de metingen in de cel met OR-plantgoed zijn samengevat in figuur 3. In de periode die de figuur laat zien zijn de volgende aan/uit instellingen van de circulatieventilator van rij 1 gerealiseerd:

06:00 – 08:15	ventilator continu aan (300 m ³ /uur per m ³ bollen)
07:20 – 07:35	ontdooien van de verdampers waarbij automatisch <i>alle</i> circulatieventilatoren uit staan 08:15 – 10:15
	20 minuten aan, 10 minuten uit (200 m ³ /uur per m ³ bollen)
10:15 – 12:50	10 minuten aan, 20 minuten uit (100 m ³ /uur per m ³ bollen)
11:20 – 11:35	ontdooien van de verdampers waarbij automatisch <i>alle</i> circulatieventilatoren uit staan
12:50 – 15:00	5 minuten aan, 25 minuten uit (50 m ³ /uur per m ³ bollen)
15:00 – 17:35	continu aan (200 m ³ /uur per m ³ bollen)
17:35 – 08:15	continu aan (300 m ³ /uur per m ³ bollen)
08:15 – 10:30	continu aan (100 m ³ /uur per m ³ bollen)
10:30 – 13:35	continu aan (50 m ³ /uur per m ³ bollen)

Het CO₂-gehalte vertoont pieken volgens het aan/uit regime (tot 15:00 uur) en volgens het ontdooiregime van de verdampers. Ook is weer goed te zien wanneer de celdeuren opengaan (17:35 en 20:38 uur).

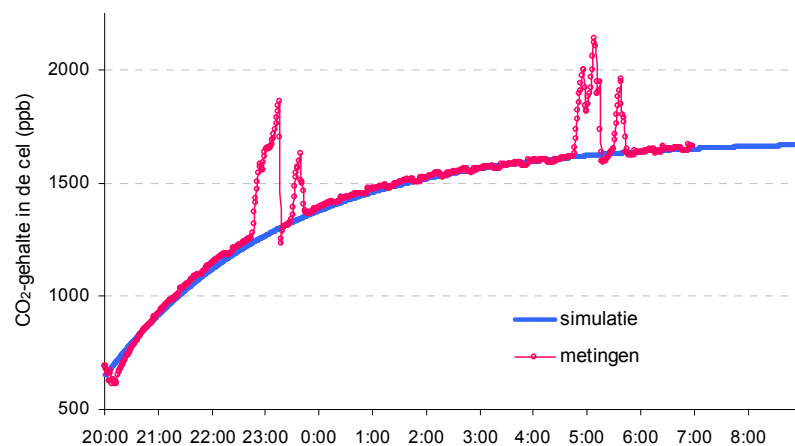


Figuur 3: CO₂ en temperatuurmetingen op bedrijf A, OR cel.

Van 15:00 tot 17:35 uur is om frequentieregelde vermindering van de circulatie na te bootsen op bedrijf A de inlaat van de ventilator verkleind, daarna draaide ventilator continu op 300m³. Het CO₂-gehalte neemt na het sluiten van de celdeur weer toe volgens de evenwichtscurve. De volgende dag is om 08:15 uur de inlaat van de ventilator forser verkleind om de luchtstroom tot 100 m³/uur te verminderen en na 10:30 tot 50 m³/uur per m³ bollen. De temperatuur van inblaasluft begint hierdoor direct op te lopen en ook de temperatuur tussen de bollen begint langzaam te stijgen. Achtergrond hierbij is dat de ventilator net zoveel warmte produceert als wanneer ingesteld op 50 Hz, maar de hoeveelheid lucht die deze warmte afvoert is teruggebracht tot 1/3 en daarna tot 1/6. Daarom wordt deze lucht warmer. Besloten is om daarom de frequentieregeling niet meer op deze wijze na te bootsen, maar om deze regeling modelmatig te simuleren.

Het CO₂-gehalte op tijdstip t , in de cel of in de kist, kan modelmatig precies worden berekend op basis van de ademhaling (CO₂ productie per uur per m³ bollen), het CO₂-gehalte van de buitenlucht, het CO₂-gehalte van de cellucht bij de start van de ventilatie ($t=0$), het luchtvolume van de cel, het aantal m³ bollen in de cel en het ventilatiedebiet. Hierbij wordt geen rekening gehouden met diffusie. Bij een perfect gesloten cel en/of bij een ventilatiedebiet groter dan 0 geeft dit geen afwijkingen van de werkelijkheid. Wordt er niet geventileerd *en* is de cel (of de kist) niet hermetisch gesloten dan overschat het model de toename van het CO₂-gehalte.

De toename van het CO₂-gehalte bij de eerste metingen in de LA-cel (vanaf dat om 20:00 uur de celdeur dicht ging tot 08:00 uur), door het model gesimuleerd op basis van de gegevens van bedrijf A (tabel 2) en een ademhaling in de orde van de labbepaling door PPO (tabel 3), is weergegeven in figuur 4. Op de CO₂-pieken die gepaard gaan met het ontdooien van de verdamers na, is de voorspelling perfect.

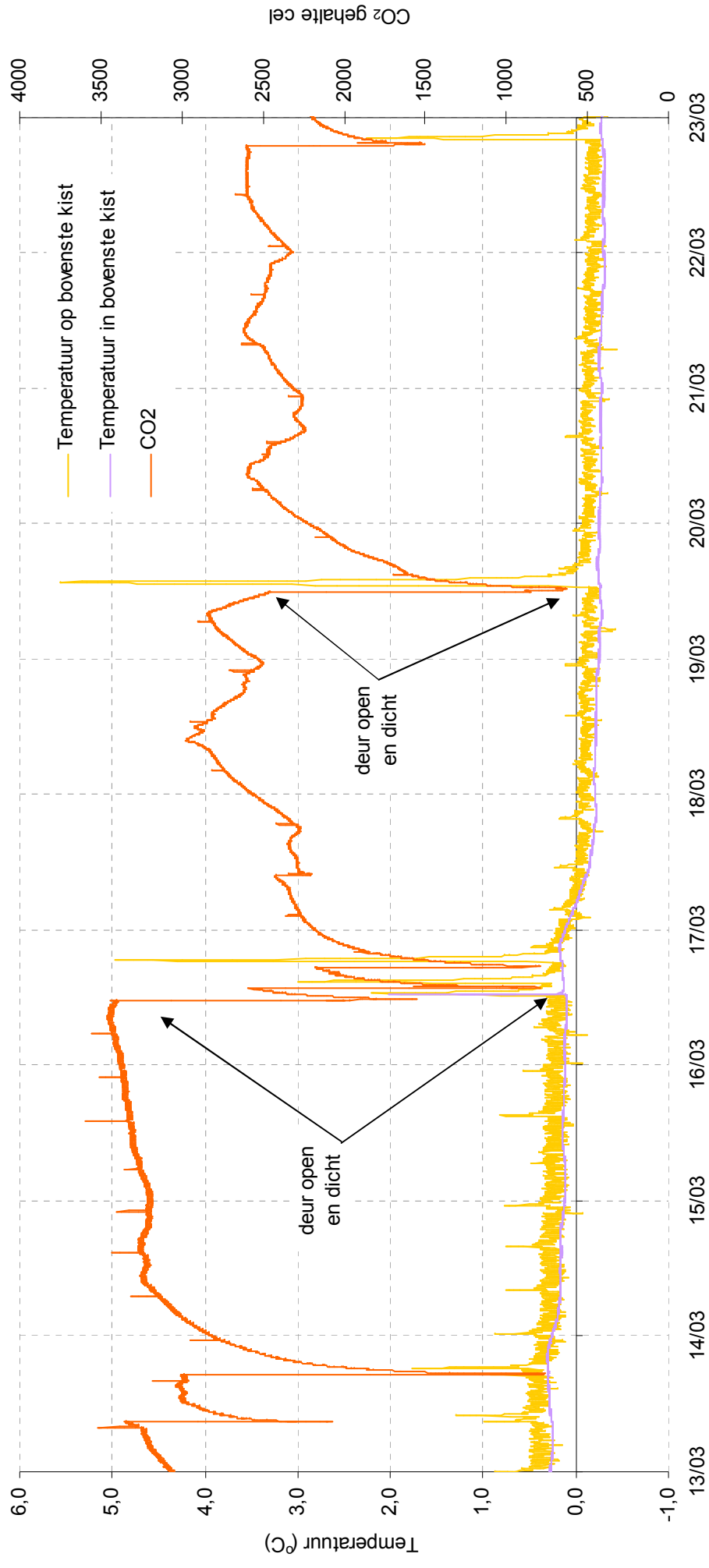


Figuur 4 gemeten en gesimuleerd CO₂-gehalte in de cel.

Met dit rekenmodel is bij verschillende ademhalingsniveaus (bij 1, 3 en 5 liter CO₂/uur per ton bollen) en verschillende circulatie debieten (300, 200, 100, 80 en 50 m³/uur per m³ bollen) het evenwichtsgesalte CO₂ in de cellucht berekend, in de kist bij frequentieregelde circulatie en het gemiddelde en het maximale CO₂-gehalte in de kist bij de aan/uit regeling, zie tabel 6.

De berekeningen laten zien dat bij frequentieregelde vermindering van de circulatie het CO₂-gehalte in de kist maar heel weinig oploopt t.o.v. het CO₂-gehalte van de cellucht (maximaal 2% bij het hoogste ademhalingsniveau). Bij aan/uit geregelde vermindering loopt het gemiddelde CO₂ gesalte in de kist bij het hoogste ademhalingsniveau op tot ruim 35% boven het CO₂-gehalte van de cellucht. Het maximale CO₂-gehalte in de kist loopt op tot ruim 85% boven het CO₂-gehalte van de cellucht. Omdat het rekenmodel met diffusie geen rekening houdt zijn de berekende CO₂-gehaltes bij de aan/uit regeling een overschatting van de werkelijkheid (vermoedelijk in de orde van 20 – 25%).

Het CO₂-gehalte in de kist is bij frequentieregelde vermindering van de circulatie stabiel en fors lager dan bij de aan/uitregeling.



Figuur 5: CO₂-gehalte en temperatuurverloop op de bovenste kist op bedrijf B, LA.

Tabel 6: Berekende CO₂-gehaltenes (ppm) bij verminderde circulatie dmv. aan/uit □ frequentieregeling.

ademhaling l/ton/uur	CO ₂ cel gemiddeld	circulatie m ³ /m ³ /uur	frequentieregeling		Aan/uit regeling		
			CO ₂ kist	aan min	uit min	CO ₂ kist	
						gemiddeld	max
1,00	1153	50	1169	5	25	1463	1893
1,00	1153	80	1163	8	22	1393	1804
1,00	1153	100	1161	10	20	1352	1745
1,00	1153	200	1157	20	10	1205	1449
1,00	1153	300	1156	30	0	1156	1156
3,00	2689	50	2737	5	25	3619	4910
3,00	2689	80	2719	8	22	3410	4643
3,00	2689	100	2713	10	20	3287	4466
3,00	2689	200	2701	20	10	2844	3576
3,00	2689	300	2697	30	0	2697	2697
5,00	4225	50	4305	5	25	5775	7926
5,00	4225	80	4275	8	22	5427	7482
5,00	4225	100	4265	10	20	5221	7187
5,00	4225	200	4245	20	10	4483	5704
5,00	4225	300	4238	30	0	4238	4238

Het CO₂-gehalte en de temperatuur als functie van de bedrijfsinstellingen is ook op langere termijn gevolgd. Een voorbeeld hiervan is samengevat in figuur 5 (pg. 18) en laat zien hoe het CO₂-gehalte bij het openen van de celdeur direct daalt en dat dan de temperatuur van de cellucht (boven op de bovenste kist) meteen stijgt. De temperatuur tussen de bollen blijft meestal stabiel door de bufferende werking van de bolmassa. Opvallend zijn ook de 3 tot 4 dagelijkse piekjes in het CO₂-gehalte, gevolgd door piekjes in de temperatuur tussen de bollen. Achtergrond hiervan is het om de 4 uur ontdooien van de verdamper. Anders dan op bedrijf A worden hierbij de circulatieventilatoren niet uitgezet.

Bij beide bedrijven komt het CO₂-gehalte tijdens de bewaarperiode nooit boven de 6000 ppm. Schadedrempels voor lelie zijn onbekend en nooit bepaald, maar bij tulp is één (beperkt) onderzoek bekend. Hierbij trad pas tussen de 10.000 en 20.000 ppm schade op.

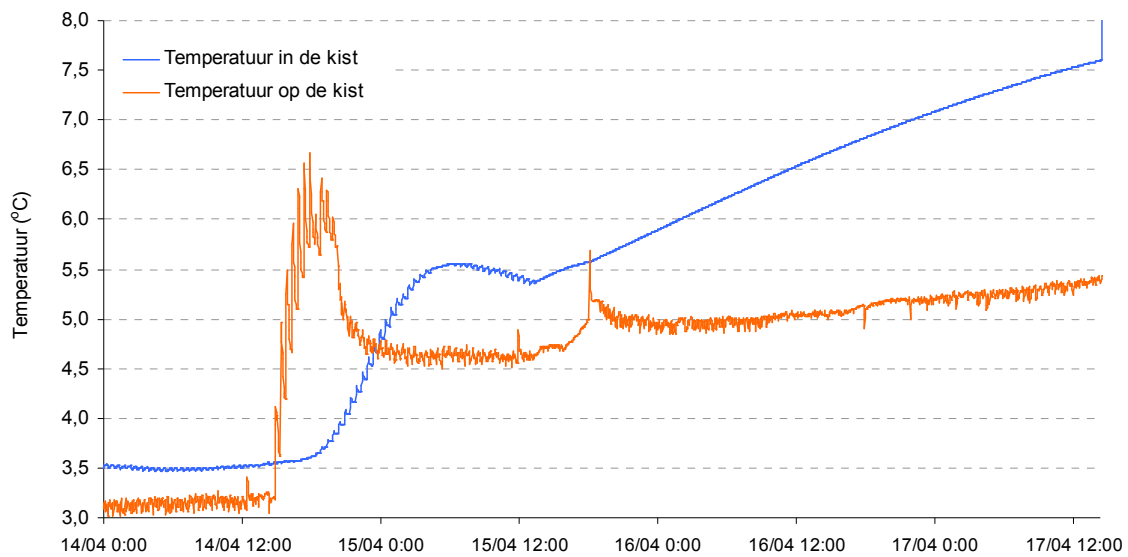
De variatie van de temperatuur van de lucht in de uitblaasopeningen van de systeemwand is, afgezien van kortstondigheden bij deuropeningen, bij de aan/uit regelingen nooit meer dan enkele tienden graden. Tussen de bollen fluctueert de temperatuur veel minder door de bufferende werking van de bollen. Bij frequentiegeregelde vermindering van de circulatie fluctueert de temperatuur tussen de bollen nog veel minder.

Wanneer de systeemventilator uit staat loopt de temperatuur tussen de bollen slechts zeer langzaam op. Bij een celtemperatuur net onder 1 °C loopt in de 55 minuten dat in rij 1 de systeemventilator uit stond de temperatuur tussen de bollen op met 0,03 °C (figuur 1a). Wanneer de systeemventilator bij een celtemperatuur van ongeveer 4,5 °C voor drie dagen helemaal uit staat loopt de temperatuur tussen de bollen met gemiddeld 0.04 °C per uur op tot 7,5 °C, figuur 6.

Zowel voor gelijkmatigheid van temperatuur als voor CO₂-afvoer is de laagste uitgeteste circulatiehoeveelheid van 50 m³/uur per m³ bollen meer dan voldoende.

De RV is ook gemeten, maar door de lage celtemperaturen waarbij de RV steeds tegen de 100% was, bleek de RV-meter onbetrouwbaar.

Tijdens het bewaren wordt door de circulatie vocht afgevoerd. Uit de gewichtsafname tijdens de eerste 3 maanden van de bewaarperiode (maximaal ongeveer 10%) kan worden afgeleid dat er in die periode voor een cel met 230 ton bollen gemiddeld maximaal 250 liter water per dag verdampt wordt. Bij de ademhaling komt relatief maar weinig water vrij: 0,74 g H₂O per liter geproduceerd CO₂. Bij een gemiddelde



Figuur 6: Temperatuurverloop zonder circulatie.

ademhaling van 2.5 liter CO₂/ton/uur betekent dit voor een cel met 230 ton bollen een dagproductie van 10,2 liter. Door ventileren met 300 m³ buitenlucht per uur van bijvoorbeeld 6 °C en een RV van 90% in een cel die op 0 °C gehouden wordt condenseert ongeveer 18 liter water per dag.

Afvoer van water uit de cel vindt plaats door het opwarmen van de lucht door de circulatieventilatoren en koelen via de condensor. Dit is energetisch ongunstig.

4.4 Energieverbruik

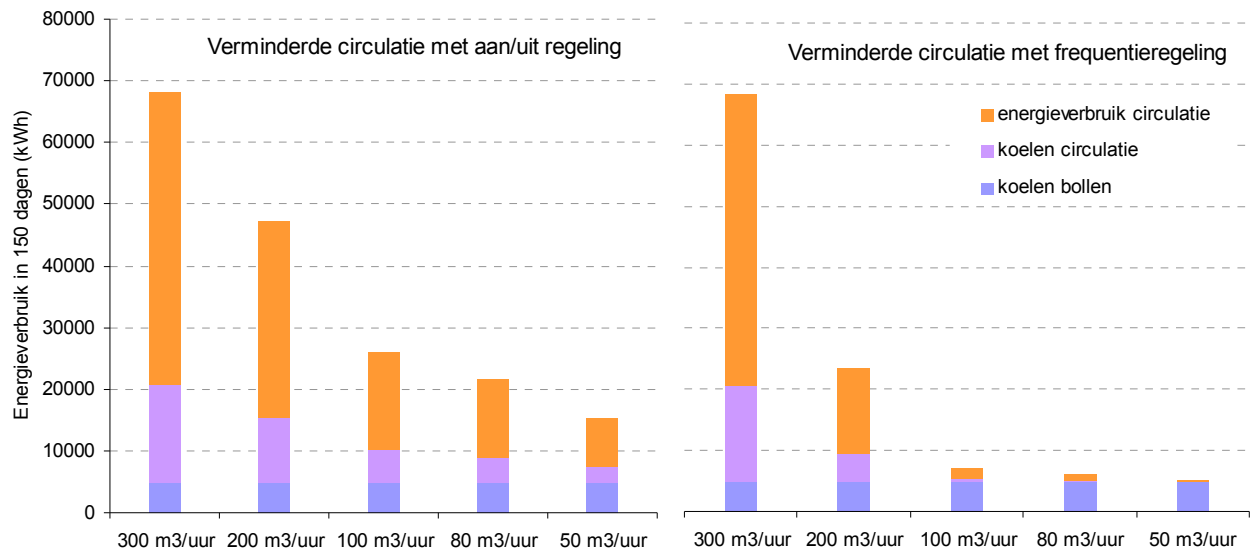
Voor één van de cellen is het berekende energieverbruik bij verminderde ventilatie door de aan/uit regeling vergeleken met vermindering door de frequentieregeling, tabel 7. Hierbij is uitgegaan van een warmteproductie door de bollen van 21 kJ/liter CO₂. Het koelen van de ventilatielucht is hierbij niet meegerekend. Door de kleine ventilatiehoeveelheid (300 m³/uur per cel) is dit voor de totale bewaarperiode van 150 dagen een relatief kleine energiepoot (berekend op 651 kWh).

Tabel 7: Energieverbruik voor circulatie en terugkoelen bij aan/uit regeling en frequentieregeling.

Vermogen per ventilator	kW	2,2				
Aantal ventilatoren	n	6				
Vermogen per cel	kWh/cel	13,2				
Ademhaling bollen	l/ton/uur	3,0				
Warmteproductie bollen	MJ/dag	348				
COP	-	3				
Energie voor terugkoelen	kWh/dag	32				
	kWh/150 dagen	4830				
Circulatie	m ³ /m ³ /uur	300	200	100	80	50
Aan/uit regeling						
Energieverbruik ventilatoren	kWh/dag	317	211	106	84	53
	kWh/150 dagen	47520	31680	15840	12672	7920
Warmteproductie ventilatoren	MJ/dag	1140	760	380	304	190
Energie voor terugkoelen	kWh/dag	106	70	35	28	18
	kWh/150 dagen	15840	10560	5280	4224	2640
Totaal energie voor terugkoelen	kWh/dag	138	103	67	60	50
	kWh/150 dagen	20670	15390	10110	9054	7470
Energieverbruik terugkoelen + circulatie	kWh/150 dagen	68190	47070	25950	21726	15390
Frequentieregeling						
Energieverbruik ventilatoren	kWh/dag	317	94	12	6	1
	kWh/150 dagen	47520	14080	1760	901	220
Warmteproductie ventilatoren	MJ/dag	1140	338	42	22	5
Energie voor terugkoelen	kWh/dag	106	31	4	2	0,5
	kWh/150 dagen	15840	4693	587	300	73
Totaal energie voor terugkoelen	kWh/dag	138	64	36	34	33
	kWh/150 dagen	20678	9532	5425	5139	4912
Energieverbruik terugkoelen + circulatie	kWh/150 dagen	68198	23612	7185	6040	5132
Bespaard t.o.v. aan/uit regeling						
	kWh/150 dagen	0	23458	18765	15686	10258
	%	0%	50%	72%	72%	67%

Zowel op het energieverbruik voor de ventilatoren, als op het energieverbruik voor het terugkoelen wordt er door de frequentieregeling flink bespaard t.o.v. de aan/uit regeling (50 – 70%). De besparingen voor deze cel lopen uiteen van 23.467 kWh tot 10.267 kWh per seizoen. Bij een elektriciteitsprijs van € 0,12/kWh betekent dit besparingen van € 2.816,- tot € 1.232,- per seizoen. De investeringen voor de aanschaf (€ 600,-) en installatie (€ 300,-) van de 6 frequentieregelaars worden geschat op 6 x (600 + 300) = € 5.400,-. Hiermee komt de terugverdientijd op 1,9 tot 4,4 seizoenen. Wordt de cel van juli t/m oktober ook gebruikt voor bijvoorbeeld de bewaring van tulpenplantgoed dan zijn de besparingen nog veel hoger en is de terugverdientijd flink korter.

Bij continu circuleren is het energieverbruik voor het terugkoelen van de warmte geproduceerd door de ventilatoren ongeveer 3 maal zoveel als voor het terugkoelen van de door de bollen geproduceerde warmte. Naarmate de circulatie vermindert neemt dit af, vooral bij frequentiegeregelde vermindering. Bij een ventilatiehoeveelheid van 50 m³/uur hoeft bij deze laatste regeling alleen nog de door de bollen geproduceerde warmte teruggekoeld te worden, figuur 7.



Figuur 7: Energieverbruik voor circulatie en terugkoelen

5 Conclusies en aanbevelingen

De analyse van de gegevens met betrekking tot ademhaling, CO₂-gehaltes en temperaturen van cellucht, inblaaslucht en tussen de bollen, de modelmatige berekeningen hiervan en de analyse van het energieverbruik, leidt tot de volgende bevindingen, conclusies en aanbevelingen:

Ventilatie:

- Bij de laboratoriumbepalingen varieerde de ademhaling van ongeveer 2 tot 4,5 liter CO₂/ton/uur. De ademhaling verschilt per cultivar, is hoger in de eerste weken van de bewaring dan in de laatste maanden, en is hoger bij een hogere bewaartemperatuur.
- Het CO₂-gehalte (in de cel en tussen de bollen in de kisten) verloopt grillig, maar volledig voorspelbaar.
- Het CO₂-gehalte is tijdens de bewaarperiode nooit boven 6000 ppm gekomen, ongeacht de ventilatie- of circulatiehoeveelheid.
- De ventilatiehoeveelheid van ongeveer 1 m³/uur per m³ bollen (door een ventilator, of door het regelmatig openen van de celdeur) is daarom ruim voldoende.

Circulatie:

- Uit de metingen blijkt dat het verminderen van de circulatie dmv. frequentieregeling de pieken in het CO₂-gehalte die optreden bij de aan/uit-regeling voorkomen worden.
- Het grootste deel van het energieverbruik voor koelen komt bij continu circuleren (300 m³/uur) op rekening van het terugkoelen van de door de ventilatoren geproduceerde warmte.
- De hiervoor benodigde energie is ongeveer 3 maal zoveel als voor het terugkoelen van de door de bollen geproduceerde warmte.
- Naarmate de circulatie vermindert neemt de benodigde energie voor het terugkoelen van de ventilatoren af.
- Met frequentiegeregelde verminderde circulatie neemt deze energiebehoefte veel sterker af dan bij de aan/uit regeling.

Temperatuur:

- Bij een gemiddeld 2 graden hogere bewaartemperatuur laten de LA-soorten vanaf half februari spruitvorming en later ook nieuwe zijwortels zien.
- Door de bufferende werking van de bolmassa varieert de temperatuur tussen de bollen als gevolg van de aan/uit regeling nauwelijks (< 0,1 °C).
- De temperatuur van de cellucht varieert sterker als gevolg van de aan/uit regeling en het ontdooien van de verdamper. Hierdoor kan de temperatuur van de cellucht kortstondig met 0,8 °C oplopen. In extreme gevallen kan bij het opengaan van de celdeuren de temperatuur kortstondig plaatselijk met 5 °C oplopen.

Vocht:

- Het RV-verloop kon niet worden gemeten, maar was meestal boven de 90 – 95%.
- Het gewichtsverlies van de bewaarde leliebollenmonsters was maximaal ongeveer 10%.
- Afvoer van water uit de cel vindt plaats door opwarmen door de circulatieventilatoren en koelen via de condensor. Dit is energetisch ongunstig.

Samenvattende conclusies:

- Een ventilatiehoeveelheid van 1 m³/uur per m³ bollen is ruim voldoende om CO₂ af te voeren.
- Zelfs de laagste circulatiehoeveelheid (50 m³/uur) leidt niet tot een te hoog CO₂-gehalte of tot te grote variatie in temperatuur tussen de bollen.
- Het in een laboratorium meten van de ademhaling van verschillende bolgewassen is een goede basis voor een ventilatie/circulatie advies om het CO₂-gehalte onder een bepaalde waarde te houden en om de warmteproductie van de bollen te schatten.
- Om de circulatie te verminderen kan het beste de frequentieregeling worden toegepast: dit bespaart ten opzichte van de aan/uit regeling 50 – 70% aan elektra door een lager energieverbruik van de ventilatoren, en daardoor ook door een lager energieverbruik voor het terugkoelen van ventilatorwarmte.

Aanbevelingen:

- Om de RV te regelen zou een efficiëntere methode van lucht ontvochtigen moeten worden ontwikkeld/toegepast dan de huidige methode van opwarmen via de circulatie en vervolgens terugkoelen.
- In de praktijk worden diverse schadedrempels voor CO₂ tijdens de plantgoedbewaring genoemd zonder dat hier de bron en/of achtergrond van duidelijk zijn. De CO₂-schadedrempel voor lelieplantgoed is onbekend en ligt waarschijnlijk veel hoger dan de normen, die in de praktijk worden gehanteerd (o.a. 1200 ppm). Dit leidt tot onnodig veel ventileren. Hierdoor neemt het energieverbruik toe. Door de schadedrempel in laboratoriumproeven voor diverse leliehybriden vast te stellen komt hier duidelijkheid in. Eventuele ongegronde angst voor CO₂ tijdens de bewaring kan worden weggenomen en onnodige ventilatie wordt beperkt. Dit komt de productkwaliteit en energieverbruik ten goede.

6 Communicatie

In het kader van het project is één artikel geschreven voor BloembollenVisie. Dit heeft op 4 juni 2009 in Bloembollenvisie gestaan. BloembollenVisie is het grootste bloembollenblad en wordt uitgegeven door de onder andere de CNB en KAVB. Het blad verschijnt 2 –wekelijks met een oplage van 4000 exemplaren. Een kopie van het artikel is bijgevoegd. Zie bijlage.

Verder is de in het project opgedane kennis via bijeenkomsten op verschillende locaties gepresenteerd. Door het te laat beschikbaar komen van de uitwerking van de data-analyse van de verzamelde gegevens uit onderzoek en demonstratiebedrijven stond het programma van de diverse in de bloembollensector actieve leliestudieclubs bijvoorbeeld vaak al vast. Er zijn een zestal bijeenkomsten geweest in plaats van de geplande tien.

Overzicht bijeenkomsten:

Club/Regio	Datum	Aantal personen	Spreker
Bijeenkomst bij Smakman Bloembollen in Creil	11/11/2009	12	Maurice Kok
Studieclubbijeenkomst bij Firma de Waard in Breezand	23/11/2009	10	Geert van Diepen
Studieclub Harenkarspel in Stroet	21/12/2009	17	Geert van Diepen
Studieclub Texel te Oosterend	01/02/2010	10	Rik Vasen
Studieclub ZON te Sint Michelsgestel	08/02/2010	12	Geert van Diepen
Bijeenkomst bij Koninklijke van Zanten te Hillegom	10/03/2010	10	Geert van Diepen

Het rendement in de bloembollensector is momenteel slecht. Telers reageren mede daardoor tegenwoordig positief op de suggesties voor energiebesparing op het bedrijf. De investeringsbereidheid is ook aanwezig, omdat men inziet dat die investeringen zich terugbetalen. Gezien het huidige economische klimaat moet de terugverdientijd wel kort zijn, anders wordt een investering uitgesteld of niet gedaan. Alleen bij nieuwbouw mag de terugverdientijd iets langer zijn.

Een vraag die tijdens alle bijeenkomsten naar voren kwam was in hoeverre het CO₂-gehalte in de cel mag oplopen voordat er schade ontstaat aan het lelieplantgoed. In de praktijk wordt regelmatig een norm van 1200 ppm gehanteerd, terwijl de schadedrempel waarschijnlijk veel hoger ligt. Er is echter geen onderzoek op dit gebied bekend.

Bij het verminderen van de circulatie door het product wordt de verdeling van de lucht over de palletkisten steeds belangrijker. Des te beter de verdeling is, des te minder de circulatie kan zijn. Bij een éénlaagsbewaarsysteem is de verdeling beter dan bij een tweelaagsysteem. Een regelmatig terugkerende vraag tijdens de bijeenkomsten was op welke wijze de verdeling van een bestaand tweelaagsysteem verbeterd kan worden. Een voorbeeld hiervan is platen op de bovenste kisten aan brengen, dit beschouwt men vaak niet altijd even praktisch als er nog veel met palletkisten gereden moet worden zoals bij de warmwaterbehandeling. Tijdens de bijeenkomsten constateerden we ook een toenemende interesse in de mogelijkheden van gelijkstroomventilatoren bij het drogen en bewaren.

Naast de reguliere advisering is de opgedane kennis ook via andere projecten in het kader van de MJA-E zoals energietips en de Kennismarkt Energie in de praktijk bekend gemaakt.